Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 14, No. 2, December 2023, pp. 251-261
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۴، شمارۀ ۲، نیمۀ دوم ۱۴۰۲، ص. ۲۶۱-۲۵۱
نوع مقاله: پژوهشی

https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.82881.1061

Evaluation of Energy Efficiency of a Common Pea Dry Land Farming System through Application of Complementary Irrigation

Hamdollah Eskandari[1], **Kamyar Kazemi**[2*]

Received: 12-06-2023
Revised: 29-07-2023
Accepted: 20-09-2023
Available Online: 21-02-2024

Cite this article:
Eskandari, H., & Kazemi, K. (2023 Evaluation of energy efficiency of a common pea dry land farming system with the application of complementary irrigation. *Iranian Journal of Pulses Research*, *14*(2), 255-266. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.82881.1061

Introduction
Common pea is an annual crop of the legominosae family with the capability of biological nitrogen fixation, and as such it has an important role in increasing productivity of field soil and is commonly used in crop rotation programs. This crop has high nutritional value due to high concentrations of the essential amino acids lysine and tryptophan. Sustainability, in terms of obtaining maximum crop productivity from a system while maintaining conservation of its resources, is one of the most important components of an agricultural system. There is a close relationship between agriculture and energy, so that energy has a direct effect on the efficiency of crop production. Agricultural systems need to be evaluated in terms of input and output energy, so that based on that, the amount of energy consumed for product production per unit area can be determined. In essence, assessing the sustainability of production in agricultural systems involves considering the balance between energy input and output. Consequently, the identification and effective management of input energy become pivotal factors in enhancing the overall energy efficiency of a production system. The current research was carried out to evaluate energy consumption and production in a common pea dry land farming system to reach the best possible improvement of energy balance.

Materials and Methods
Evaluation of the energy balance of a common pea dry land farming system and the effect of a complementary irrigation on total energy efficiency was determined from values for energy inputs and outputs including seed, pesticide (liquid herbicide), human labor (men and women), machinery, diesel fuel and grain yield per unit area. Energy inputs were determined from questionnaires completed by farmers. Farmers were asked to provide the information on their cultivation system including technical specifications for type of machinery used, including motor capacity, total land area, planting and harvesting method, crop yield per unit area, number of workers, amount of seed, amounts of fertilizer and pesticides. Energy efficiency of the system was evaluated by calculating the energy ratio and net output energy.

Results and Discussion
Results showed that the highest energy input belonged to diesel fuel, followed by seed. Distances between the input of diesel fuel and other inputs were high, where 87% (12724 MJ.ha^{-1}) of total consumed energy was allocated to diesel fuel. Grain yield of the common pea production system with and without complementary irrigation were 863 Kg.ha^{-1} and 645 Kg.ha^{-1}, produced by consuming 14488 MJ.ha^{-1} and 14679 MJ.ha^{-1}, respectively. In other words, complementary irrigation resulted in more input energy and grain yield. In the current research, complementary irrigation caused a considerable improvement in grain yield that resulted in higher output energy. Complementary irrigation increased input energy from 14589 MJ.ha^{-1} to 14679 MJ.ha^{-1} (60 MJ.ha^{-1}was added) (Figure 2), but evaluations of energy ratio and net output energy revealed the positive effect of complementary irrigation on energy efficiency.

1- Associate Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran.
* Corresponding Author: kamyar.kazemi@pnu.ac.ir

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

Conclusions
The dry land farming system for common peas exhibited low energy efficiency, primarily attributed to diminished grain production. Notably, diesel fuel consumption represented the highest energy input. While some essential production activities inevitably lead to increased input energy, it is recognized that managing inputs may not always guarantee improved energy efficiency. However, the experiment demonstrated that introducing complementary irrigation during the flowering stage of common peas resulted in an enhanced energy efficiency for the system.

Keywords: Energy ration, Input energy, Net energy, Output energy, Production sustainability

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 14, No. 2, December 2023, pp. 251-261
Original Research

پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۴، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۲، ص. ۲۶۱-۲۵۱
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.82881.1061

بررسی کارآیی انرژی در نظام تولید نخود دیم با اعمال آبیاری تکمیلی

حمداله اسکندری[1]، کامیار کاظمی[2]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۷

چکیده

انرژی‌های ورودی و خروجی، اجزای مهمی از کشاورزی پایدار هستند. به بیان دیگر، تولید پایدار بدون توجه به توازن انرژی نظام‌های تولیدی، قابل حصول نیست. بر این اساس، در این پژوهش که در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ در شهرستان خرم‌آباد انجام شد، انرژی ورودی و خروجی دو نظام تولید نخود (*Cicer arietinum*) دیم (نظام تولید نخود دیم بدون آبیاری تکمیلی و نظام تولید نخود دیم با آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی) اندازه‌گیری شد تا بر اساس آن، کارآیی انرژی نظام و اثر آبیاری تکیملی بر آن تعیین شود. بدین منظور، ابتدا با استفاده از فرمول کوکران، حجم نمونه (تعداد کشاورزان) تعیین گردید و سپس در بین کشاورزان پرسش‌نامه‌هایی توزیع شد تا اطلاعات مربوط به نظام کشت خود شامل نوع ماشین‌آلات، سطح نهایی زمین زیر کشت، روش کاشت و برداشت، عملکرد دانه در واحد سطح، تعداد کارگرها (مرد و زن)، میزان بذر استفاده شده، مقدار کود و آفت‌کش‌ها را در آن قید کنند. برای مقایسه دو نظام تولید نخود دیم، علاوه‌بر اندازه‌گیری انرژی‌های ورودی و خروجی، شاخص‌های نسبت انرژی و انرژی خالص خروجی نیز محاسبه شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از پرسش‌نامه‌ها نشان داد که کل انرژی ورودی به نظام ۱۴۵۸۹ مگاژول در هکتار بود که ۸۷ درصد آن (۱۲۷۲۴ مگاژول در هکتار) به مصرف سوخت دیزل اختصاص داشت. عملکرد دانه نخود دیم در شرایط کشت دیم کم (۶۴۵ کیلوگرم در هکتار) بود، به همین دلیل انرژی خروجی از نظام (۱۱۹۹۷ مگاژول در هکتار) کمتر از انرژی ورودی به نظام بود که در نتیجه، نسبت انرژی و انرژی خالص خروجی به‌ترتیب کمتر از یک (۰/۸۲) و کمتر از صفر (۲۴۹۱- مگاژول در هکتار) به‌دست آمد. اگر چه آبیاری تکمیلی درمرحله گل‌دهی، مصرف انرژی را به‌اندازه ۶۰ مگاژول در هکتار افزایش داد، ولی به‌دلیل افزایش ۳۴ درصدی عملکرد دانه و انرژی خروجی نظام، کارآیی انرژی کل نظام تولید نخود دیم را بهبود بخشید، چرا که باعث افزایش نسبت انرژی و انرژی خروجی به‌ترتیب به ۱/۱ و ۱۴۰۶ مگاژول در هکتار شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی، علاوه‌بر افزایش عملکرد دانه، کارآیی انرژی را نیز افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: انرژی خالص؛ انرژی خروجی؛ انرژی ورودی؛ پایداری تولید؛ نسبت انرژی

مقدمه

پایداری در تولید به‌معنی به‌دست آوردن حداکثر محصول از نظام همراه با حفظ منابع تولید است و یکی از اجزای مهم کشاورزی پایدار به‌شمار می‌آید. استفاده بهینه از منابع انرژی را می‌توان با محاسبه انرژی ورودی و خروجی به نظام مورد ارزیابی قرار داد. میزان انرژی ورودی و انرژی خروجی در نظام-های تولیدی گیاهان زراعی مختلف بررسی شده است. در یک پژوهش که توازن انرژی دو نظام کشت برنج (*Oryza sativa*) را مورد مقایسه قرار داد، نتیجه گرفته شد که عملیات تهیه بستر کشت شامل سوخت فسیلی و ماشین‌آلات مورد استفاده در عملیات تهیه بستر، بیشترین انرژی ورودی را در نظام تولید برنج به خود اختصاص داد (Eskandari & Attar, 2015). در نظام تولید نخود به‌روش ارگانیک مشاهده شد که عدم استفاده از مواد شیمیایی برای کنترل آفات و همچنین کود شیمیایی باعث بهبود انرژی خالص نظام به‌میزان ۳۸ درصد شد (Georgieva *et al.*, 2022). در مورد نیشکر (*Saccharum officinarum*) بیان شد که تولید هر کیلوگرم شکر نیازمند ۱/۵۹ مگاژول انرژی است. همچنین گزارش شد که آبیاری، بیشترین انرژی ورودی به نظام تولید نیشکر را به خود اختصاص داد و برای بهبود کارآیی انرژی نظام، باید آبیاری

۱- دانشیار، گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران.
۲- استادیار، گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران.
(*- نویسنده مسئول: kamyar.kazemi@pnu.ac.ir)

به‌خوبی مدیریت شود (Karimi *et al.*, 2008). در پژوهشی دیگر در نظام تولید ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa*)، بیشترین انرژی ورودی به نظام به سوخت دیزل و بعد از آن به کود شیمیایی تعلق داشت (Seydosoglu *et al.*, 2023). در مورد کشت خیار (*Cucumis sativus*) نیز محققان گزارش دادند، بیشترین مصرف انرژی مربوط به کود شیمیایی بود (Eskndari & Mosavian, 2023). بر اساس نتایج تحقیقات مختلف می‌توان نتیجه گرفت که بین محصولات زراعی مختلف از نظر میزان انرژی ورودی و خروجی و همچنین نهاده‌ای که بیشترین انرژی ورودی را به خود اختصاص می‌دهد، تفاوت وجود دارد. بنابراین، تعیین انرژی ورودی برای بهبود کارآیی انرژی در نظام‌های تولیدی باید به‌طور جداگانه انجام پذیرد.

نخود یکی از گیاهان یکساله خانواده بقولات است که قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را نیز دارا می‌باشد و از این نظر برای افزایش حاصلخیزی خاک مزارع به‌طور معمول در تناوب قرار می‌گیرد. نخود، ارزش غذایی بالایی دارد، چرا که غلظت اسیدهای آمینه ضروری لیسین و تریپتوفان در آن بالاست (Tripathi *et al.*, 2015). بر اساس آخرین آمار منتشر شده (آمار سال زراعی ۱۴۰۰)، حدود ۵۷۰ هزار هکتار از اراضی کشور زیر کشت حبوبات می‌رود که از این مقدار، حدود ۳۹۰ هزار هکتار (۶۸ درصد) به کشت نخود اختصاص دارد. از بین کل سطح زیر کشت نخود در کشور، حدود ۶۸ هزار هکتار آن (۱۸ درصد) در استان لرستان کشت می‌شود (رتبه سوم بعد از استان‌های کرمانشاه و کردستان) که از این مقدار ۳۶۰ هکتار به کشت آبی و مابقی ۶۷۶۴۰ هکتار به کشت دیم اختصاص دارد. از میزان تولید نخود در کشور حدود ۱۷۰ هزار تن است که ۲۷۳۹۰ هزار تن آن در استان لرستان (رتبه دوم بعد از استان کرمانشاه) تولید می‌شود. از نخود تولید شده در استان لرستان، ۳۷۷ تن از کشت آبی و ۲۷۰۱۴ هزار تن در کشت دیم به‌دست می‌آید (Anonymous, 2021). در شهرستان خرم‌آباد نیز حدود ۸۳۰۰ هکتار به کشت نخود اختصاص دارد که از این سطح، حدود ۴۵۰۰ تن نخود تولید می‌شود (رتبه دوم استان لرستان) (Anonymous, 2021). از آنجا که کارآیی انرژی در نظام‌های کشت دیم، به‌ویژه در شرایط کاربرد آبیاری تکمیلی تاکنون به‌خوبی مورد بررسی قرار نگرفته است، امکان بهبود کارآیی انرژی این نظام تولید به ارزیابی‌های دقیق‌تر نیاز دارد.

در زمانی که ریزش نزولات آسمانی متوقف شده باشد و در خاک، کمبود رطوبت رخ دهد، می‌توان با اعمال آبیاری تکمیلی مقداری آب در اختیار گیاه قرار داد تا امکان رشد بوته-ها، و در نتیجه، افزایش تولید دانه، فراهم گردد. با این حال، نیاز است آبیاری تکمیلی به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که آب در زمان حداکثر نیاز، در اختیار گیاه قرار بگیرد (Ghamarnia *et al.*, 2012). در گیاهانی که دانه تولید می‌کنند، مرحله بحرانی برای اعمال آبیاری تکمیلی، مرحله رشد زایشی معرفی شده است (Saffari & Madadizadeh, 2012). در نخود نیز گزارش شده است که حساس‌ترین زمان برای اعمال آبیاری تکمیلی، مرحله گل‌دهی می‌باشد (Parsa *et al.*, 2011). در این زمینه گزارش شده است که اعمال آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی می‌تواند از طریق افزایش تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه نخود را بهبود ببخشد (Mousavi & Shakarami, 2008).

واضح است که کمبود انرژی به بحران ختم می‌شود. بحران انرژی، تهدیدی جدی برای تولید غذا می‌باشد، چرا که انرژی تأثیر مهمی بر تولید آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی، پمپ‌های آبیاری و کار ماشین‌های کاشت، داشت و برداشت دارد. بر این اساس، برای تولید پایدار محصولات زراعی، مدیریت انرژی ضروری است. در مقاله حاضر کوشش شده است تا مصرف و تولید انرژی در نظام تولید نخود دیم در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی مورد ارزیابی قرار بگیرد.

مواد و روش‌ها

پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ در شهرستان خرم‌آباد (با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۴۷ متر از سطح دریا) انجام شد. منطقه دارای اقلیم نیمه خشک سرد با میانگین بارش سالانه ۵۲۵ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۷ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی سالانه ۴۶ درصد می‌باشد. این پژوهش به‌صورت تکمیل پرسش‌نامه توسط زارعین نخود دیم انجام شد. کشت نخود دیم در منطقه بر اساس توصیه‌های ترویجی انجام می‌شود که طی آن ابتدا زمین با گاوآهن پنجه‌غازی شخم زده می‌شود (به‌دلیل اهمیت حفظ رطوبت در زراعت دیم، از گاوآهن برگردان‌دار استفاده نمی-شود). بذر ارقام آزاد یا آرمان که مقاوم به بیماری برق‌زدگی می‌باشند در عمق پنج سانتی‌متری و با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع کاشته می‌شود. به‌دلیل قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن مولکولی هوا و همچنین بیشتر بودن فسفر خاک منطقه از شش میلی‌گرم بر کیلوگرم، از کودشیمیایی استفاده نمی‌شود (Shobairi, 2014). علف‌های هرز در طول دوره رشد به‌صورت وجین دستی کنترل می‌شوند. برداشت نیز در زمانی که رنگ غلاف به قهوه‌ای روشن تغییر می‌کند و رطوبت دانه به ۱۲- ۱۰ درصد می‌رسد، انجام می‌شود.

ارزیابی تعادل انرژی نظام تولید نخود در کشت دیم و اثر آبیاری تکمیلی بر کارآیی انرژی با استفاده از داده‌های انرژی ورودی و خروجی از نظام انجام شد. بدین منظور، ابتدا با استفاده از فرمول کوکران حجم نمونه از کشاورزان منطقه مشخص گردید (Eskandari & Attar, 2015):

معادله (۱) $N = \frac{Nt^2s^2}{Ns^2+t^2s^2}$

که در آن، N: اندازه جامعه آماری یا تعداد زارعان نخودکار به‌صورت دیم، s^2: واریانس صفت مورد مطالعه، t: ضریب اطمینان قابل قبول در توزیع نرمال (بر اساس سطح اطمینان ۹۵ درصد، مقدار آن ۱/۹۶ در نظر گرفته شد) و d: تفاضل نسبت واقعی صفت در جامعه با میزان تخمین (که حداکثر آن، یعنی ۰/۰۵، در نظر گرفته شد). بر اساس رابطه فوق، حجم نمونه ۱۵۰ کشاورز به‌دست آمد که از این تعداد، ۴۵ نفر در کشت خود از آبیاری تکمیلی استفاده کردند. میزان انرژی ورودی به نظام کشت نخود دیم در منطقه، با استفاده از پرسش‌نامه‌هایی که در اختیار کشاورزان قرار داده شد، به‌دست آمد. از کشاورزانی که از آبیاری تکمیلی استفاده نکردند (نیاز آبی گیاه تنها از طریق بارش تأمین می‌شد) خواسته شد که اطلاعات نظام کشت خود شامل نوع ماشین‌آلات، سطح نهایی زمین زیر کشت، روش کاشت و برداشت، عملکرد دانه در واحد سطح، تعداد کارگرها (مرد و زن)، میزان بذر استفاده شده، مقدار کود و آفت‌کش‌ها را در پرسشنامه قید کنند. در طول دوره کاشت تا برداشت، داده‌های ارائه شده بر اساس داده‌های مزرعه مجدداً بررسی شد. همچنین از کشاورزانی که از آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی استفاده کردند، خواسته شد که اطلاعات دقیق مربوط به‌روش آبیاری، طول دوره آبیاری، منبع تامین آب، تعداد کارگرهای به‌کارگیری شده برای آبیاری را ذکر نمایند. بر این اساس، آزمایش شامل دو سری داده بود: نظام کشت دیم بدون آبیاری تکمیلی و نظام کشت دیم با آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی. کشاورزان، در طول دوره رشد از کود شیمیایی استفاده نکردند و به همین دلیل داده‌ای مبنی بر محاسبه کود شیمیایی به‌عنوان انرژی ورودی ثبت نگردید. کلیه اطلاعاتی که از کشاورزان اخذ شد، در مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای محاسبه انرژی ورودی به نظام، معادل انرژی هرکدام از نهاده‌ها (جدول ۱) در میزان نهاده مصرفی ضرب گردید (Eskandari, 2023):

معادله (۲) $SI = EQ_S. S$

معادله (۳) $PI = EQ_P. P$

معادله (۴) $EMI = 1 + \frac{EQM.MT}{N}$

معادله (۵) $FI = EQ_F. F$

معادله (۶) $F = MH. DF$

معادله (۷) $DF = 0.223. PTO$

معادله (۸) $HLI = EQ_{HL}. HL$

که در معادله‌های فوق، SI: ورودی نهاده بذر (بر حسب مگاژول در هکتار)، EQs: معادل انرژی بذر (بر حسب مگاژول بر کیلوگرم)، S: میزان بذر مصرف شده (بر حسب کیلوگرم در هکتار)، PI: نهاده ورودی آفت‌کش‌ها (بر حسب مگاژول بر هکتار)، EQ_p: معادل انرژی آفت‌کش‌ها (علف‌کش مایع بر حسب مگاژول بر لیتر)، P: میزان آفت‌کش مصرف شده (لیتر در هکتار)، EMI: نهاده ورودی ماشین‌آلات (بر حسب مگاژول بر هکتار)، EQ_M: معادل انرژی ماشین‌آلات (مگاژول بر کیلوگرم)، M: میزان وزن ماشین‌آلات استفاده شده (بر حسب کیلوگرم)، T: زمان استفاده از ماشین آلات (بر حسب ساعت در هکتار)، N: عمر مفید ماشین‌آلات (بر حسب ساعت)، FI: نهاده ورودی سوخت (بر حسب مگاژول در هکتار)، EQF: معادل انرژی سوخت (بر حسب مگاژول بر لیتر)، F: میزان سوخت مصرف شده (بر حسب لیتر در هکتار)، MH: میزان استفاده از ماشین‌آلات (بر حسب ساعت در هکتار)، DF: میزان سوخت مصرف شده (بر حسب لیتر در ساعت)، PTO: (قدرت B.T.O تراکتور که در عملیات کاشت تا برداشت استفاده شد بر حسب کیلووات ساعت)، HLI: نهاده ورودی نیروی کار (بر حسب مگاژول بر هکتار)، EQHL: (معادل انرژی نیروی کار (بر حسب مگاژول در ساعت) و HL: نیروی کار استفاده شده (بر حسب ساعت در هکتار) می‌باشند. معادل انرژی هرکدام از نهاده‌ها و محصول در جدول ۱ درج شده است. از آنجا که هدف کشت نخود در منطقه به‌طور عمده تولید دانه می‌باشد، از محاسبه معادل انرژی کاه و کلش به‌عنوان انرژی خروجی صرف نظر گردید.

از آنجا که آبیاری (در تیمار اعمال آبیاری تکمیلی) با استفاده از پمپ الکتریکی و به‌صورت غرقابی انجام گرفت، برای محاسبه انرژی ورودی به نظام از این طریق از رابطه زیر استفاده شد (Eskandari, 2023):

معادله (۹) $P = \frac{Y.Q.H}{1000.\varepsilon p}$

که در آن، P: توان به‌کار رفته بر حسب کیلووات، Y: وزن مخصوص آب، Q: دبی پمپ (متر مکعب بر ثانیه)، H: بار کل

دینامیکی (متر) و ep: راندمان پمپ می‌باشد. در این پژوهش، راندمان پمپ الکتریکی ۸۰ درصد در نظر گرفته شد (Eskandari & attar, 2015). با ضرب تعداد کل ساعات آبیاری در هکتار در کیلووات محاسبه شده در معادله ۹، انرژی مصرفی پمپاژ آب بر حسب کیلووات در هکتار به‌دست می‌آید که با ضرب آن در عدد ۳/۶ به واحد مگاژول در هکتار تبدیل شد.

جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی نظام کشت نخود

Table 1- Energy equivalent of input and output of irrigated wheat production system

نهاده نظام System input	معادل انرژی Energy equivalent	واحد Unit	منبع Reference
بذر نخود pea seed	15.7	مگاژول بر کیلوگرم $MJ.kg^{-1}$	(Tripathi *et al.*, 2015)
ماشین‌آلات Machineries	62.7	مگاژول بر کیلوگرم $MJ.kg^{-1}$	(Vafabakhsh & Mohammadzadeh, 2019)
سوخت دیزل Diesel fuel	56.3	مگاژول بر لیتر $MJ.lit^{-1}$	(Ghaderzadeh & Mahammadiani, 2020)
علف‌کش Herbicides	238	مگاژول بر لیتر $MJ.lit^{-1}$	Dargahi *et al.*, 2016)
نیروی انسانی Human labor	1.96	مگاژول بر لیتر $MJ.hr^{-1}$	(Georgieva *et al.*, 2022)
الکتریسیته Electricity	3.6	مگاژول بر لیتر $MJ.hr^{-1}$	Eskandari & attar (2015)

کارآیی انرژی نظام تولید نخود با محاسبه نسبت انرژی و انرژی خالص خروجی با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شد (Hatirli *et al.*, 2006):

معادله (۱۰)
$$\text{نسبت انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی ورودی}}$$

معادله (۱۱)
[انرژی ورودی – انرژی خروجی] = انرژی خالص خروجی

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (ver. 26) آنالیز شدند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون t استفاده شد. نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷ برای رسم شکل‌ها به‌کار رفت.

نتایج و بحث

میزان انرژی‌های ورودی به نظام کشت نخود دیم در جدول ۲ و شکل ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که سوخت دیزل بیشترین انرژی ورودی را داشت که بعد از آن بذر قرار داشت (جدول ۲ و شکل ۱). فاصله بین سوخت دیزل و دیگر نهاده‌ها زیاد بود، به‌طوری‌که ۸۷ درصد (۱۲۷۲۴ مگاژول بر هکتار) از کل انرژی مصرف شده به سوخت دیزل اختصاص داشت. در یک پژوهش که در استان چهارمحال بختیاری و در یک نظام نیمه‌مکانیزه انجام شد، مشاهده گردید که در لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris*) بیشترین انرژی مصرف شده به سوخت تعلق داشت (Rostami & Hosainzadeh, 2014). در یک پژوهش دیگر نتیجه گرفته شد که سوخت دیزل بیشترین مصرف انرژی را در بین نهاده‌ها برای تولید چغندرقند (*Beta vulgaris*) داشت (Zahedi *et al.*, 2014). این یافته- ها با نتایج این تحقیق هم‌خوانی داشت. در پژوهش حاضر، مصرف بالای سوخت دیزل به‌عنوان یک نهاده ورودی، بیشتر مربوط به عملیات برداشت و به‌خصوص عملیات دانه‌کوبی و حمل و نقل از مزرعه تا انبار بود که توسط تمامی کشاورزان نمونه آماری انجام شد. در یک پژوهش گزارش شد که در تولید دانه‌های روغنی، بیشترین انرژی مصرفی به کود شیمیایی تعلق داشت (Paris *et al.*, 2022). این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت ندارد. با این حال، در پژوهش فوق، از کل انرژی ورودی به نظام، ۳۵ درصد به کود شیمیایی و ۳۰ درصد به سوخت دیزل اختصاص داشت که از نظر اهمیت سوخت دیزل در انرژی ورودی به نظام کشت با پژوهش حاضر هماهنگی دارد، چرا که در تحقیق حاضر به‌دلیل شرایط خاص (توانایی تثبیت زیستی نیتروژن و عدم نیاز به فسفر) کود شیمیایی مصرف نشد.

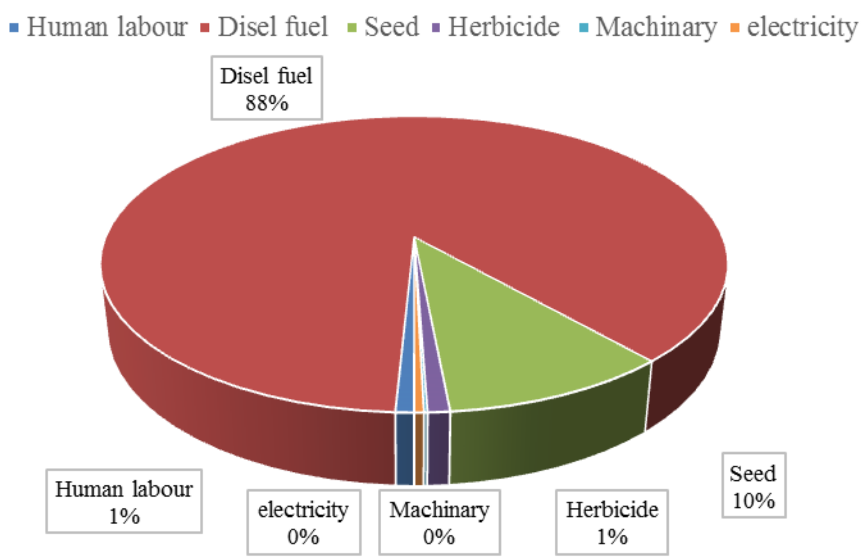
جدول ۲- انرژی‌های ورودی نظام کشت دیم نخود

Table 2- Input and output energy of dryland chickpea production system

نهاده Input	واحد Unit	انرژی ورودی Input energy	انرژی نهایی مگاژول در هکتار Total energy ($Mj.ha^{-1}$)
نیروی انسانی (مرد) Human labor (men)	ساعت h	42	82
نیروی انسانی (زن) Human labor (women)	ساعت h	21	33
سوخت دیزل Diesel fuel	لیتر lit	226	12724
بذر seed	کیلوگرم kg	78	1451
علف‌کش Herbicide	لیتر lit	1.32	139
ماشین‌آلات Machinery	ساعت h	0.35	22
الکتریسیته* Electricity	ساعت h	5	60

* الکتریسیته فقط در نظام نخود دیم با آبیاری تکمیلی وجود داشت

* Electricity was only available in common pea dry land farming system with supplementary irrigation



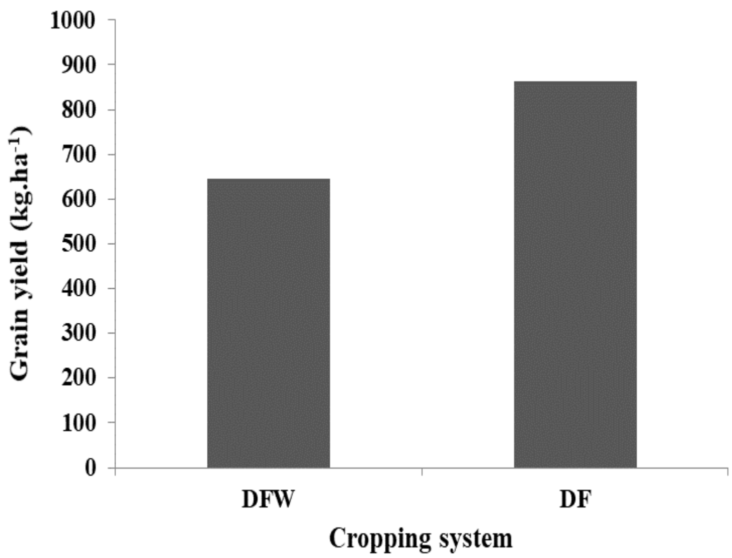
شکل ۱- سهم نهاده‌های مختلف در میزان انرژی ورودی به نظام تولید نخود دیم

Fig. 1- The contribution of different inputs in the amount of energy input to the common pea dry land farming system

داده‌های عملکرد دانه (به‌دست آمده از پرسش‌نامه‌های تکمیل شده توسط زارعین) نخود دیم با آبیاری و بدون آبیاری تکمیلی نشان داد که این دو نظام به‌ترتیب ۸۶۳ و ۶۴۵ کیلوگرم در هکتار دانه تولید کردند (شکل ۲) و انرژی مصرفی آن‌ها نیز به‌ترتیب ۱۴۶۷۹ و ۱۴۵۸۹ مگاژول بر هکتار بود (شکل ۳ قسمت A). به بیان دیگر، آبیاری تکمیلی منجر به افزایش انرژی ورودی به نظام (حدود یک درصد) شد. با این حال، انرژی خروجی نظام بدون آبیاری تکمیلی حدود ۳۶ درصد کمتر از انرژی خروجی نظام با آبیاری تکمیلی بود (شکل ۳ قسمت B) که علت این امر تولید دانه کمتر در نظام بدون آبیاری تکمیلی بود. نتایج مشابهی توسط برخی محققان دیگر گزارش شده است، به‌طوری‌که یلماز و همکاران (Yilmaz *et al.*, 2004) مشاهده کردند که مصرف سوخت دیزل توسط ماشین‌آلات در عملیات‌های کاشت (اغلب شامل شخم) و برداشت، بیشترین انرژی ورودی به اغلب نظام‌های زراعی از جمله آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، سویا (*Glycine*

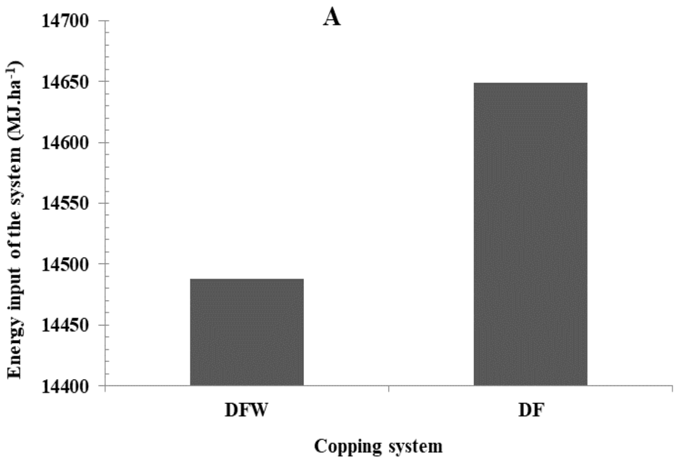
max)، کلزا (*Brassica napus*)، ذرت (*Zea mays*) و گندم (*Triticum aestivum*) است و ممکـن اسـت انـرژی خروجـی نتواند این میزان از انرژی را جبران نماید. به بیان دیگر، چنانچه انرژی خروجی از سیسـتم نتوانـد انـرژی ورودی بـه سیسـتم را جبران نماید، کاهش کارآیی انرژی به وقوع خواهـد پیوسـت. بـا این حال، در پژوهش حاضر، آبیاری تکمیلی باعث افزایش قابـل توجه در عملکرد دانه و در نتیجه، انرژی خروجی نظام شد.

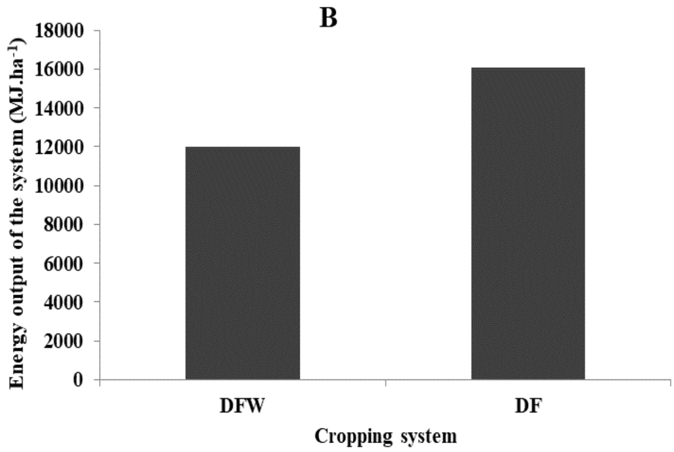
آبیاری تکمیلی، انرژی ورودی بـه نظـام را ۶۰ مگـاژول در هکتار افزایش داد، به‌طوری‌که انرژی ورودی به نظام از ۱۴۵۸۹ بـه ۱۴۶۷۹ مگـاژول در هکتـار افـزایش یافـت (شـکل ۳)، امّـا ارزیابی نسبت انـرژی و انـرژی خـالص خروجـی نشـان داد کـه آبیاری تکمیلی اثر مثبتی بر کـارآیی انـرژی داشـت (شـکل ۳). شاخص‌های انرژی نشان داد که نسـبت انـرژی تولیـد شـده در نظام کشت دیم بـدون آبیـاری تکمیلـی کمتـر از یـک (۰/۸۲) (شکل ۵) بود. با اعمال آبیـاری تکمیلـی، کـارآیی انـرژی نظـام حدود ۳۴ درصد بهبود پیدا کرد. نتیجه پژوهش‌های دیگـر کـه در منطقه خرم‌آباد انجـام شـد، نشـان داد کـه عملکـرد دانـه و کـارآیی انـرژی نظـام تولیـد دیـم جـو (*Hordeum vulgare*) (Eskandari & Alizadeh-Amraie, 2016, a) و کلـزا (Eskandari & Alizadeh-Amraie, 2016, b) به مـدیریت آبیاری از طریق اعمال آبیاری تکمیلی وابسته است که با نتـایج تحقیق حاضر هماهنگی دارد.



شکل ۲- عملکرد دانه نخود در دو نظام کاشت. DFW: نظام کاشت دیم بدون آبیاری تمکیلی؛ DF: نظام کاشت دیم با آبیاری تکمیلی

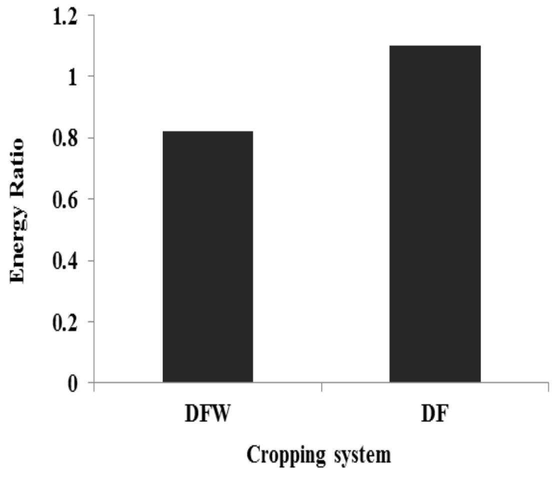
Fig. 2- Grain yield of common pea under two cultivation systems. DFW: dry land farming system without complementary irrigation; DF: dry land farming system with complementary irrigation





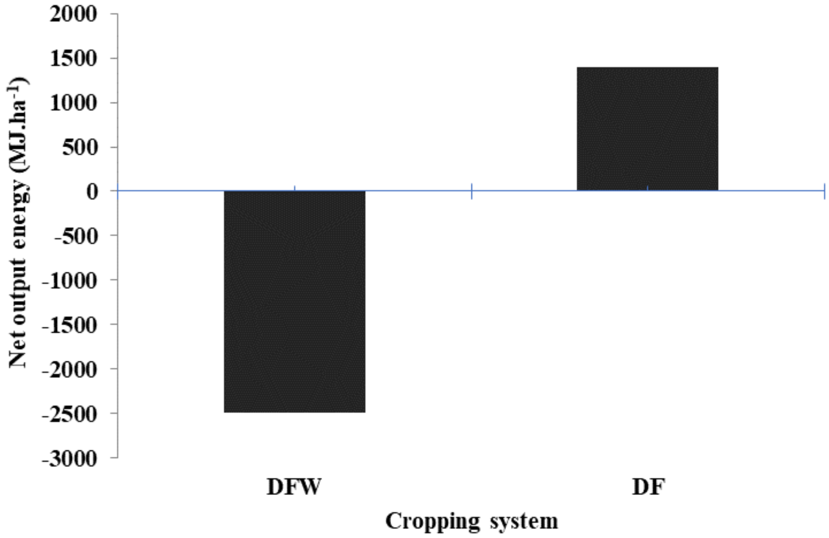
شکل ۳- انرژی‌های ورودی (A) و خروجی (B) دو نظام کشت نخود. DFW: نظام کشت دیم بدون آبیاری تکمیلی؛ DF: نظام کشت دیم با آبیاری تکمیلی

Fig. 3- Input (A) and output (B) energies of the two common pea cropping systems. DFW: dry land farming system without complementary irrigation; DF: dry land farming system with complementary irrigation



شکل ۴- نسبت انرژی دو نظام کشت نخود. . DFW: نظام کشت دیم بدون آبیاری تکمیلی؛ DF: نظام کشت دیم با آبیاری تکمیلی

Fig. 4- Energy ratio of the two common pea cropping systems. DFW: dry land farming system without complementary irrigation; DF: dry land farming system with complementary irrigation



شکل ۵- انرژی خالص خروجی دو نظام کشت نخود. DFW: نظام کشت دیم بدون آبیاری تکمیلی؛ DF: نظام کشت دیم با آبیاری تکمیلی

Fig. 5- Net output energy of the two common pea cropping systems. DFW: dry land farming system without complementary irrigation; DF: dry land farming system with complementary irrigation

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که نظام کشت دیم نخود کارآیی انرژی پایینی دارد و علت آن این است که انرژی خروجی (۱۲۰۰۰ مگاژول) کمتر از انرژی ورودی (۱۴۴۸۰ مگاژول) به نظام است. سوخت دیزل بیشترین انرژی ورودی به نظام (۸۸ درصد از کل انرژی ورودی) را به خود اختصاص داد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی می‌تواند کارآیی انرژی نظام تولید نخود را بهبود ببخشد. اگر چه آبیاری تکمیلی باعث افزایش ۶۰ مگاژول در هکتار انرژی ورودی به نظام شد، ولی اثر مثبت آن بر تولید دانه مثبت بود، به‌طوری‌که عملکرد دانه را از ۶۴۵ به ۸۶۳ کیلوگرم در هکتار (۳۴ درصد افزایش) رساند که باعث افزایش ۳۷ درصدی نسبت انرژی و ۳۹۰۰ مگاژولی انرژی خالص خروجی شد و این به مفهوم بهبود کارآیی انرژی در نظام تولید نخود دیم با اعمال آبیاری تکمیلی است.

References

Anonymous, (2021). Agricultural statistics of 2021. Ministry of Agriculture-Jahad Publisher, Iran. (In Persian)

Dargahi, M.R., Jahan, M., Naseri, M.T., & Ghornabi, R. (2017). Energy balance evaluation and economic analysis of canola production in Golestan province. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, *112*, 50-62. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/aj.2016.112697

Eskandari, & Alizadeh-Amraie, (2016a). Grain yield and energy efficiency of a barley dry land farming system as affected by supplemental irrigation at flowering stage. *Journal of Crop Improvement*, *18*(4), 871-880. (In Persian with English Abstract)

Eskandari & Alizadeh-Amraie, (2016b). Effect of complementary irrigarion during reproductive growth period on grain yield, oil and energy efficiency of rapeseed under dry land farming system. *Journal of Crop Improvement*, *18*(4), 907-919. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2017.56663

Eskandari, H. (2023). Contribution of production inputs to energy consumption in wheat production system for providing a solution to improve energy consumption. *Iranian Journal of Energy and Environment*, *14*(1), 53-57. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.5829/ijee.2023.14.01.07

Eskandari, H., & Attar, S. (2015). Energy comparison of two rice cultivation system. *Renewable and Sustainable Energy Review*, *42*, 666-671. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.050

Eskandari, H., & Mosavian, S.N. (2023). Energy analysis for two production systems of cucumber. *Iranian Journal of Energy & Environment*, *14*(2), 96-101. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.5829/ijee.2023.14.02.01

Georgieva, N., Nikolova I., Pavlov, D., & Zhelyazkova, T. (2022). Energy efficiency in pea organic production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *28*, 55-60.

Ghaderzadeh, H., & Pirmohamadyani, Z. (2020). Evaluation efficiencies of energy for potato production in Hamedan province of Iran. *Journal of Agricultural Economics Research*, (In Persian with English Abstract)

Ghamarnia, H., Farmanifard, M., & Sasani, S. (2012). The effects of supplementary irrigation on yield and water use efficiency of three new wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Journal of Water and Irrigation Management*, *2*(2), 69-83. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22059/jwim.2013.30341

Hatirli, S.A., Ozkan, B., & Fert, C. (2006). Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy, 31*, 427-438. https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.04.007

Karimi, M., Rajabpour, A., Tabatabaeefar, A., & Borghei A. (2008). Energy analysis of sugarcane productionin plant farms: A case study in Debel Khazaie agro-industry in Ian. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental*, *4*(2), 165-71.

Mousavi, S.K. & Shakarami, G. (2008). Effects of supplemental irrigation on chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield in Low rain condition. *Electronical Journal of Crop Production*, *4*(1), 99-113. (In Persian with English Abstract)

Paris, B., Vadorou, F., Balafoutis A.T., VaiopoulosK., Kyriakarakos, G., Manolakos, D., & Papadakis, G. (2022). Energy use in open-field agriculture in the EU: A critical review recommending energy efficiency measures and renewable energy sources adoption. *Renewable and Sustainable Energy Review*, *158*, 112098. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112098

Parsa, M., Ganjeali, A., Rezaiean, A., & Nezami, A. (2011). Effects of supplemental irrigation on yield and growth indices of three. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *9*(3), 310-321. (In Persian with English Abstract)

Rostami, S., & Hosainzadeh, B. (2014). Study and compare of the energy efficiency of the conventional and semi mechanized bean cultivation in Chaharmahal and Bakhtiari province. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, *5*, 11-23. (In Persian with English Abstract)

Saffari, M., & Madadizadeh, M. (2012). Evaluation of different levels of nitrogen and complementary irrigation effect on grain yield and its components of rainfed barley, Sahand cultivar in Baft. Iranian *Dryland Agronomy Journal*, *1*(1), 92-107. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/idaj.2012.100112

Seydosoglu, S., Baran, F.M., Turan, N., Alfarraj, S., & Albasher, G. (2023). Greenhouse gas emission and energy analysis of vetch (*Vicia sativa* L.) cultivation. *Journal of King Saudi University – Science*, *35*, 102541. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102541

Shobairi, S. (2014). Technical recommendations for planting, keeping and harvesting rainfed chickpeas and introduction of new cultivars. Coordination Management of Agricultural Extension Publisher. (In Persian).

Tripathi, H., Chandel, N.S., Tripathi, A., & Mishra, P. (2015). Energy use and economic analysis for pea production. *Madras Agricultural Journal*, *102*, 196-200.

Vafabakhsh, J., & Mohammadzadeh, A. (2019). Energy flow and GHG emissions in major field and horticultural crop production systems (Case study: Sharif Abad plain). *Journal of Agroecology*, *11*(2), 365-382. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.81742

Yilmaz, I,, Akcaoz, H., & Ozkan, B. (2004). An analysis of energy use and input in agriculture. *Renewable Energy*, *30*, 145-155.

Zahedi, M., Eshghizadeh, H.R., & Mondani, F. (2015). Energy efficiency and productivity in potato and sugar beet production systems in Isfahan province. *Journal of Crop Production and Processing*, *17*(5), 181-191. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.17.181